



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2013

Bessere Produktions- und Nutzungsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim

Lemm, Renato ; Holm, Stefan ; Thees, Oliver

Abstract: To be able to estimate the commercial wood assortment of forests at all times is an important requirement of economical wood production. This makes it possible to improve management decisions by quantifying the revenues of alternative silvicultural and bucking strategies. So far a functional simulation instrument for bucking single trees and whole stands was missing in forestry and in forest science in Switzerland. The SorSim bucking simulator of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL) fills this gap. SorSim is implemented in Java and is platform-independent. An overview is given how the simulator works. Two examples show applications in practice and science. Of particular value is the possibility of estimating wood assortments of planned harvesting operations based on simple timber marking protocols. Especially in science and in strategic planning, SorSim allows the analysis of the long-term development of revenues of forest stands given different silvicultural methods. Combining SorSim with IT-based harvesting productivity models provides greater insight. Further development of SorSim entails testing different optimization approaches, e.g. single tree bucking to value and whole stand bucking to order.

DOI: <https://doi.org/10.3188/szf.2013.0301>

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-99540>

Journal Article

Published Version

Originally published at:

Lemm, Renato; Holm, Stefan; Thees, Oliver (2013). Bessere Produktions- und Nutzungsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (Swiss Forestry Journal), 164(10):301-309.

DOI: <https://doi.org/10.3188/szf.2013.0301>

Bessere Produktions- und Nutzungsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim

Renato Lemm Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Stefan Holm Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Oliver Thees Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Better decisions in forest management with the SorSim bucking simulator

To be able to estimate the commercial wood assortment of forests at all times is an important requirement of economical wood production. This makes it possible to improve management decisions by quantifying the revenues of alternative silvicultural and bucking strategies. So far a functional simulator instrument for bucking single trees and whole stands was missing in forestry and in forest science in Switzerland. The SorSim bucking simulator of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL) fills this gap. SorSim is implemented in Java and is platform-independent. An overview is given how the simulator works. Two examples show applications in practice and science. Of particular value is the possibility of estimating wood assortments of planned harvesting operations based on simple timber marking protocols. Especially in science and in strategic planning, SorSim allows the analysis of the long-term development of revenues of forest stands given different silvicultural methods. Combining SorSim with IT-based harvesting productivity models provides greater insight. Further development of SorSim entails testing different optimization approaches, e.g. single tree bucking to value and whole stand bucking to order.

Keywords: forest management, dss-tool, annuity, bucking strategies
doi: 10.3188/szf.2013.0301

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail renato.lemm@wsl.ch

Die Vorkalkulation der Ergebnisse eines Hiebes ist für die jährliche Nutzungsplanung und die Verhandlungen mit den Holzerntedienstleistern und Holzeinkäufern sowie für die Steuerung der Holzabfuhr notwendig. Ebenso bietet die Vorkalkulation eine solide Grundlage zur Information des Waldbesitzers und weiterer Interessierter über die zu erwartenden Sortimente, Kosten und Erlöse. Wirtschaftlichkeit setzt voraus, dass zweckmässige und kostengünstige Verfahren für die Holzernte gewählt werden. Hierfür müssen die Kosten der Ernte und die Erlöse aus den Produkten im Voraus kalkuliert werden können. Die Vorkalkulation umfasst drei Bereiche:

1. Abschätzung der Holzerntemenge nach Baumarten und Sortimenten,
2. Ermittlung der Holzerlöse für die erwarteten Sortimente und Mengen und
3. Herleitung der Holzerntekosten unter den zugrunde liegenden Bedingungen.

Für die Vorkalkulation von Holzerntekosten liegen computergestützte Modelle vor, so zum Beispiel HeProMo (Frutig et al 2009). Eine wirtschaftliche und kundenorientierte Holznutzung verlangt aber, dass man auch die vermarktbar

kennt. Diese lassen sich nur über eine Schätzung der in einem Baum enthaltenen Sortimente ermitteln. Dazu eignen sich besonders IT-gestützte Modelle, die mit wenigen Informationen wie Baumart, Brusthöhendurchmesser (BHD) und Alter (bzw. Höhe) die Schaftform von Bäumen nachbilden, vorgegebene Sortimente in diese einpassen und deren Volumen ermitteln. In Deutschland existiert mit Holzernte 7.1¹ bereits ein solches Instrument. In der Schweiz gab es, obschon die Problematik nicht neu ist, bisher noch keine für den Praktiker leicht zugängliche und einfach in anderen Anwendungen einsetzbare Software, um (wert-)optimale Sortimentsschätzungen anzustellen oder frei definierbare Sortimente auszuhalten (Lemm & Erni 2009). Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) hat daher den Sortierungssimulator SorSim für Schweizer Bedingungen entwickelt, welcher eine Abschätzung der Sortimentsmengen nach Baumarten und die Ermittlung der Holzerlöse für die erwartete Verkaufsmenge erlaubt.

¹ www.fva-bw.de/forschung/holzernte/uebersicht.html (15.7.2013)

Klassen	Mittendurchmesser (cm)	Minimaler Zopfdurchmesser für L3 (cm)
6	≥60	22
5	50–59	22
4	40–49	22
3b	35–39	18
3a	30–34	18
2b	25–29	18
2a	20–24	18
1b	15–19	14
1a	10–14	–
Restholz	<10	–

Tab 1 Sortierung von Nadelholz nach Dimensionsklassen und zugehörige Mittendurchmesser (WVS 2010).

Der Beitrag beschreibt die wichtigsten Aspekte der Konzeption eines Sortierungssimulators für die Schweiz wie erforderliche Eingangs- beziehungsweise Bestandesdaten der Nutzung, Methoden zur Modellierung der Stammform, Kriterien und Vorgaben zum Einteilen des Stammes und zur Erfassung der Qualität und der Erlöse sowie Algorithmen zur Einteilung des Stammes in Sortimente. Weiter wird dargestellt, wie der Prototyp des Sortierungssimulators SorSim realisiert und mit welcher IT-Technologie er in eine lauffähige Software umgesetzt wurde. Zwei Anwendungsbeispiele zeigen, wie eine Baumliste einzelstammweise sortiert und wie die Ertragsentwicklung zweier waldbaulicher Versuchsflächen, einer gleichförmigen und einer plenterartigen, berechnet und miteinander verglichen werden kann. Ein Ausblick skizziert, was in der Weiterentwicklung des Sortierungsmodells noch zu tun ist.

Wie funktioniert SorSim?

Einen ersten Prototyp des Sortierungssimulators SorSim entwarfen Lemm & Erni (2009). Dieser wurde zunächst WSL-intern verwendet und schliesslich 2012 überarbeitet und in Java als Version 2.0 implementiert (Holm et al 2012). Auf dieser Version 2.0 basieren auch die nachfolgenden Anwendungsbeispiele. Die bei Java gegebene Plattformunabhängigkeit ermöglicht die Verwendung von SorSim auf den meisten gängigen Systemen, setzt jedoch die Installation der Java-Laufzeitumgebung (JRE) voraus. SorSim ermöglicht es, eine Liste von Bäumen ab File zu lesen, diese gemäss einer Liste von Sortimentsvorgaben gemäss den Schweizer Handelsgebräuchen für Rohholz (WVS 2010) in Sortimente einzuteilen und daraus anhand von Qualitätsanteilen und Holzpreisen einen Bruttoerlös zu berechnen.

Die Einteilung nach Sortimentsdimensionen erfolgt am Stammfuss, beginnend in der definierten Schrittweite (in der Regel sind 50 cm sinnvoll). Auf jeder Schafthöhe wird geprüft, ob ein geforderter

Mitten- respektive Zopfdurchmesser erfüllt ist. Dabei erfolgt die Prüfung in der Reihenfolge der gewählten Sortierungsstrategie, in der Regel werden also zuerst die stärksten und wertvollsten Sortimente eingepasst. Ist eine passende Position gefunden, werden die Stückmasse ermittelt und dann das Sortiment schrittweise zu verlängern versucht, bis dies nicht mehr weiter möglich ist. Dann wird das so erhaltene Stück abgefertigt und unter Berücksichtigung eines allfälligen Zumasses die neue Position am Schaft für die nächsten Sortimente vorgemerkt. Im vorliegenden Sortierungsmodell wird alles, was in einem Schaft nicht stammholztauglich ist, dem Industrie- und Energieholz zugewiesen. Da es beim Laubholz wegen der ausladenden Krone nicht möglich ist, den Schaft zu 100% als Sägeholz zu verwenden, wird Schaftholz nur bis zum Kronenansatz und der Rest als Energie- beziehungsweise Industrieholz berechnet. Die Berechnung des Kronenansatzes erfolgt nach Döbbeler et al (2002). Die Berechnung des Durchmessers in 7 m Höhe (D_{7m}) bei fehlenden Werten auf dem Baumlisten-File beruht auf Werten von Formquotienten D_{7m}/BHD aus Erhebungen des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI). Die Volumenermittlung der Schafstücke basiert auf der Berechnung des Volumens des Rotationskörpers, der entsteht, wenn man die Schaftholzform um seine vertikale Achse rotieren lässt. In der Forstpraxis und bei der Werksvermessung wird das Volumen für die Abrechnung jedoch liegend nach der Mittenflächenformel berechnet. Die Volumenabweichungen, die hierdurch auftreten, spielen angesichts der ungenauen Qualitätsangaben (vgl. dazu auch Beispiel 2 weiter hinten) eine untergeordnete Rolle und werden in Kauf genommen. Eine softwaretechnische Berücksichtigung der Volumenermittlung mithilfe der Mittenflächenformel wäre kein Problem.

Für die Sortierung nach Längsklassen kann man entsprechend den Handelsgebräuchen für Rohholz (WVS 2010) beim Nadelholz eine der Optionen L1, L2 oder L3 (3.0–6.0 m, 6.5–14.5 m und 15.0–22.0 m) und beim Laubholz die Option L1 wählen. Bei L1 und L2 beim Nadelholz sowie beim Laubholz spielt der Zopfdurchmesser keine Rolle. Für die Sortierung nach Durchmesser (unter der Rinde gemessen) gelten in der Regel die Vorgaben gemäss Tabelle 1. Diese Klassen können jedoch auch im Sortimentsvorgaben-File modifiziert werden. Der Fällschnitt erfolgt bei einer variabel wählbaren Stockhöhe. In unseren Beispielen wurde diese bei 30 cm festgesetzt.

Zur Modellierung der Stammform kann wie im LFI eine kubische Spline-Interpolation verwendet werden (Brassel & Lischke 2001). Die Stützstellen (in 1 m, 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 70% und 80% der Baumhöhe) beruhen dabei auf einer soliden empirischen Datengrundlage von 38 000 sektionsweise liegend vermessenen Bäumen, ergänzt mit 300 ste-

hend sektionsweise vermessenen Bäumen aus Randbereichen. Als Eingangsgrößen dienen Höhe, Baumart, BHD und D_{7m} . Die Rindenfunktion basiert auf Untersuchungen von Altherr et al (1974). In den nachfolgenden Beispielen wurde diese sehr genaue Funktion benutzt. Es kann aber auch die weniger Eingangsgrößen benötigende Schaftfunktion nach Lemm (1991) gewählt werden, welche Baumart, BHD, unechte Ausbauchungsreihen nach Grundner & Schwappach (1952) und für die Rindenabzüge Funktionen nach Badoux² einsetzt.

Die als Defaultwerte vorgegebenen Sortimentspreise beruhen auf den Preisempfehlungen der Holzproduzenten der Kantone Aargau, beider Basel, Bern und Solothurn für den Rundholzverkauf 2010/2011.³ Für die Anteile der Qualitätsklassen A, B, C und D werden Erfahrungswerte aus dem WSL-Forschungswald Bremgarten, Wohlen, Waltenschwil verwendet. Preise und Qualitätsanteile sind nach Bedarf frei wählbar. Aus Menge, Preis und Qualitätsanteil pro Sortiment wird der Bruttowert beziehungsweise -erlös für jeden Baum berechnet.

Der Prototyp ist als Java-Applikation verfügbar und bietet die Möglichkeit, die Schaftenteilung nach verschiedenen Strategien vorzunehmen. Die Schaftfunktionen können ausgetauscht und die Sortimentsvorgaben einfach verändert werden. SorSim unterstützt mehrere Anzeigesprachen. Im Mo-

ment sind dies Deutsch, Französisch und Englisch. Eine detaillierte Beschreibung aller Funktionen sowie der zugrunde liegenden Berechnungsverfahren ist im Handbuch enthalten (Holm et al 2012).

Anwendungsbeispiele

Bei den folgenden beiden Anwendungen geht es darum, die Einsatzmöglichkeiten und die Leistungsfähigkeit des Sortierungssimulators zu demonstrieren. In beiden Fällen werden die Schaftformen einer Menge von Bäumen modelliert und diese in eine Menge von Sortimenten eingeteilt. Das erste Anwendungsbeispiel berechnet auf der Grundlage eines Anzeichnungsprotokolls die Sortimente und die entsprechenden Erlöse zum jetzigen Zeitpunkt. Das zweite ist ein Beispiel einer Anwendung im Bereich der strategischen Planung und insbesondere auch der Wissenschaft: Es werden Sortimente und ihre erntekostenfreien Erlöse innerhalb eines Stammes für verschiedene Baumarten und für mehrere Zeitpunkte, sowohl für den verbleibenden als auch für den ausscheidenden Bestand in Form von Annuitäten berechnet.⁴ Die Ergebnisse werden für einen gleichförmigen Bestand und einen Plenterbestand erzeugt und miteinander verglichen.

In den Anwendungen wird jeweils eine Baumliste ab einer CSV-Datei mit der Teilanwendung «Sortimentieren einer Baumliste» eingelesen. In dieser können die einzelnen Bäume mit BHD sowie, falls bekannt, mit der Schaftlänge und dem D_{7m} modelliert werden. Nach Wahl der Schaftfläche «Sortiments-tabelle erstellen» wird die Sortimentsstückliste erstellt. Durch Setzen des «Häkchens» werden die Sortimente entweder in eine Ausgabedatei im CSV-Format geschrieben, oder es wird nur eine Zusammenfassung der Sortimente am Bildschirm ausgegeben.

Eine Übersicht über den Hauptbildschirm gibt die Abbildung 1. Die Teilanwendung «Baumliste sortimentieren» besteht aus den Teilen Baumliste, Sortimentsvorgaben, Darstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse.

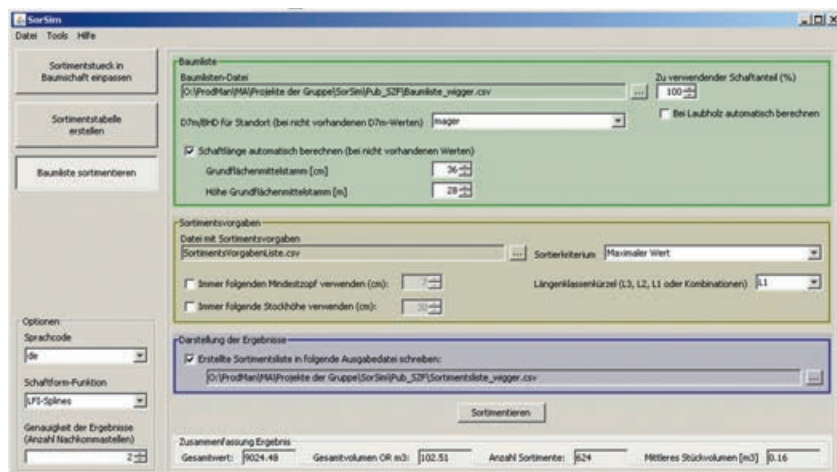


Abb 1 Teilanwendung «Baumliste sortimentieren» des Sortierungssimulators SorSim.

# 11.03.2013/RL							
# File mit Baumliste für Sortimentssimulator							
#							
#ID	Baumart	Baumart-Code	Beschreib	Aufnahme-Datum	BHD	D7m	SchaftLaenge_m
1	Fichte	100	Fichte_1_1	2012	18	0	0
9	Fichte	100	Fichte_1_9	2012	22	0	0
16	Fichte	100	Fichte_1_16	2012	26	0	0
19	Fichte	100	Fichte_1_19	2012	30	0	0
22	Fichte	100	Fichte_1_22	2012	34	0	0
33	Fichte	100	Fichte_1_33	2012	50	0	0
38	Tanne	101	Tanne_1_1	2012	14	0	0
40	Tanne	101	Tanne_1_3	2012	18	0	0
41	Tanne	101	Tanne_1_4	2012	18	0	0
66	Tanne	101	Tanne_1_29	2012	38	0	0
78	Tanne	101	Tanne_1_41	2012	50	0	0
89	Buche	200	Buche_1_9	2012	22	0	0
120	Esche	202	Esche_1_16	2012	22	0	0
129	Esche	202	Esche_1_25	2012	26	0	0
138	Esche	202	Esche_1_34	2012	34	0	0

Abb 2 Auszug aus «Erfasste Merkmale einer Baumliste».

Beispiel 1: Sortierung auf der Grundlage von Anzeichnungsprotokollen

Welche Sortimente und welche Bruttoerlöse sind in einem bestimmten Bestand von Fichten, Tannen, Buchen und Eschen bei einer Durchforstung zu erwarten? Solch eine Frage stellt sich häufig in

2 BADOUX E (1979) Rindenprozentage (unveröffentlichte Tabelle aus der Dendrometrie-Vorlesung an der ETH Zürich).

3 www.awv.ch/cms2/fileadmin/bilder/Dateien/Holzpreisempfehlungen_2010-11_v3.pdf (15.7.2013)

4 HANEWINKEL M, FRUTIG F, LEMM R (SUBMITTED) Economic performance of uneven-aged forests analysed with annuities. Forestry.

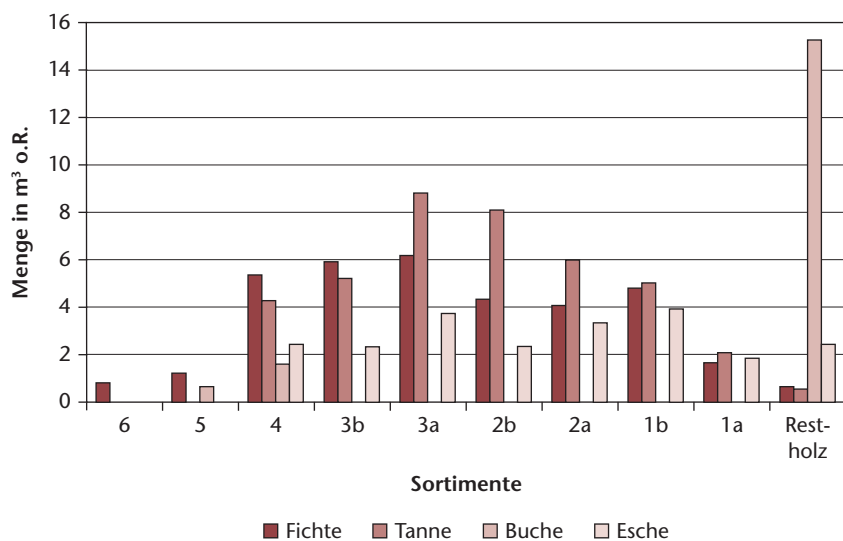


Abb 3 Kalkulierte Sortimentsmengenliste des gemäss Anzeichnungsprotokoll erzeugten Kurzholzes; Restholz wird als Energieholz verwendet werden.

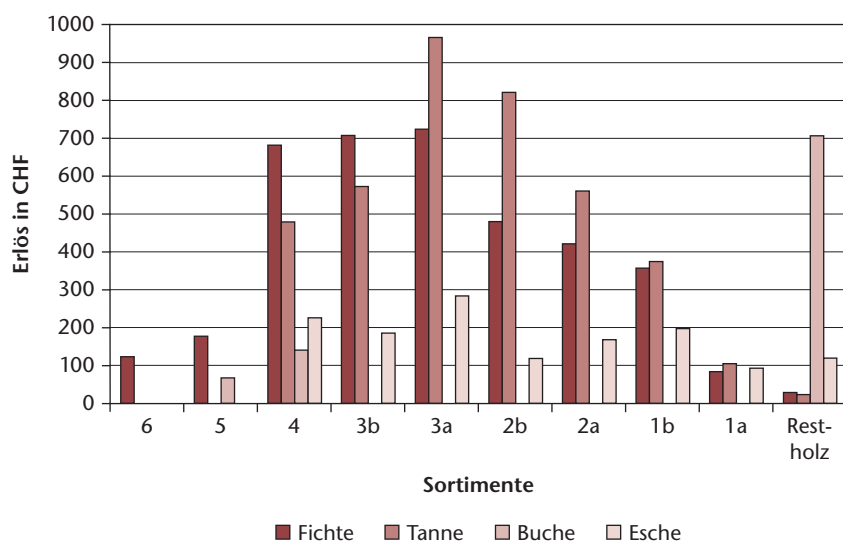


Abb 4 Kalkulierte Sortimentserlöse des gemäss Anzeichnungsprotokoll erzeugten Kurzholzes; Restholz wird als Energieholz verwendet werden.

der Praxis. Die für die Bearbeitung mit SorSim erforderliche Ausgangsinformation ist ein Anzeichnungsprotokoll des Bestandes, in dem die zu entnehmenden Bäume in der Regel mit den Merkmalen Baumart und Bruthöhendurchmesser erfasst werden.

In der Teilanwendung «Baumliste sortimentieren» benötigt SorSim eine Liste von Bäumen (Baumliste), die in Sortimente eingeteilt werden sollen. Eine solche Baumliste muss eine eindeutige Struktur (Abbildung 2) aufweisen und als CSV-File vorliegen. Kommentarzeilen beginnen immer mit «#» und werden von der Applikation ignoriert. Jeder zu sortimentierende Baum wird in einer neuen Zeile erfasst. Es können beliebig viele Kommentarzeilen und beliebig viele Bäume erfasst werden.

Das Panel «Sortimentsvorgaben» enthält Sortierungsvorschriften gemäss den Schweizerischen Holzhandelsgebräuchen (WVS 2010) sowie weitere Informationen zu den Qualitätsanteilen und den Erlösen pro Sortiment (siehe Defaultwerte im Kapitel

«Wie funktioniert SorSim?»). Alle Angaben können durch den Benutzer verändert werden. Im Beispiel wurden als Sortimentsvorgabe bei Buche die Nutzholzsorimente nur ab Klasse 4 zugelassen. Der Rest wurde als Restholz, in diesem Falle als Energieholz, ausgehalten. Die Stammholzanteile wurden beim Nadelholz auf 90% des Stammes gesetzt; beim Laubholz wird Stammholz bis zum Kronenansatz ausgehalten.

Ausgehend von der CSV-Datei kann der Benutzer eigene Grafiken erstellen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen beispielhaft die aus der Baumliste erzeugten Sortimente und deren Bruttoerlöse. Man sieht, dass bei der Buche viel Holz ins Energieholz wandert. Es fallen nur einige Kubikmeter Rundholz der 4. und 5. Klasse an. Für Fichte liegt das Schwergewicht bei der 3. und 4., für Tanne bei der 2. und 3. Klasse. Eschen werden bis zur 4. Klasse etwa in derselben Grössenordnung auftreten. Die Erlöskalkulation zeigt den zu erwartenden hohen Beitrag der Nadelhölzer für das finanzielle Ergebnis. Der Sortierungssimulator bietet dem Praktiker die Möglichkeit, die Sortimente nach der von ihm gewählten Strategie auszuhalten, dabei Varianten zu prüfen und die Wirtschaftlichkeit der Nutzung zu verbessern. Die differenzierten Informationen lassen sich mit dem Instrument effizient ermitteln.

Erfahrungen in Deutschland mit der vergleichbaren Softwarelösung «Holzernte 7.1» zeigen aber, dass die Praxis sich schwertut damit, das Hilfsmittel systematisch und konsequent zu nutzen. Möglicherweise liegt dies aber auch an der Komplexität der deutschen Lösung. SorSim ist eventuell einfacher zu bedienen, indem er nur einen Teil der Funktionalitäten, nämlich die Sortenaushaltung und Erlöskalkulation, abdeckt.

Beispiel 2: Vergleich Plenterbestand mit gleichförmigem Bestand

Wie unterscheiden sich eine Plenterwaldfläche und eine Fläche mit gleichförmigem Hochwald bezüglich des Sortimentsanfalls und der holzerntekostenfreien Erlöse im Zeitablauf? Die eingesetzten Ressourcen optimal zu nutzen, ist ein Anspruch des ökonomischen Prinzips (Möhring 2010) und somit eine Frage, die für die Praxis von grosser Bedeutung ist und bei deren Beantwortung die Wissenschaft nützliche Hilfestellung geben kann.

Derzeit existiert noch immer kein einheitliches Bild davon, unter welchen Randbedingungen ein Plenterbestand finanziell erfolgreicher sein kann als ein gleichförmiger Hochwald (Knoke 2009). Das vorliegende Beispiel, welches auf langen, realen Messreihen von Einzelbäumen beruht, kann diese Lücke zwar nicht schliessen, aber es zeigt, wo Unterschiede sichtbar werden. Als Datenbasis werden zwei Versuchsflächen in der Schweiz verwendet, die 1928 respektive 1888 erstmals inventarisiert wurden. Die wichtigsten Kennzahlen zu den Beständen sind in

Merkmal	Gleichförmiger Bestand	Plenterbestand
Flächennummer	21019000	1041000
Ort und Höhe über Meer	Olten 445 m	Rougemont les Ars 1294 m
Flächenart	gleichförmig	plenterartig
Flächengrösse	0.25 ha	1.50 ha
Verjüngungs- und Pflegekosten in den ersten 15 Jahren	Verjüngung 1869: CHF 10 000.–/ha	keine
Erstaufnahme im Jahr	1888	1928
Anfangsvorrat (bei Erstaufnahme)	188 m ³ /ha	367 m ³ /ha
Letzte Aufnahme im Jahr	1963	2003
Endvorrat (bei letzter Aufnahme)	1036 m ³ /ha	378 m ³ /ha
Nettowert im Jahr der Endaufnahme	CHF 75 684.–/ha	CHF 10 337.–/ha
Baumarten	100% Fichte	60% Fi, 40% Ta bis 40% Fi, 60% Ta
Anzahl Aufnahmen des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes	13	13
Jahre zwischen zwei Aufnahmen	4–14	4–9

Tab 2 Die wichtigsten Kennzahlen der Bestände.

Tabelle 2 zu finden. Zu den verschiedenen Zeitpunkten wurden sowohl der BHD als auch die Baumhöhe des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes erhoben. Mit SorSim wird dann die Schaftform jedes Baumes zu jedem Zeitpunkt aus BHD, D_{7m} und Baumhöhe mit der kubischen Spline-Interpolation (Brassel & Lischke 2001) in und ohne Rinde berechnet, und die Bäume werden gemäss den Schweizerischen Holzhandelsgebräuchen (WVS 2010) als Kurzholz (L1) in Sortimente eingeteilt. Dabei ist zu beachten, dass die Sortierung nach Qualität beim Nadel- und Laubholz in den Holzhandelsgebräuchen zum Teil sehr «unscharf», d.h. nur verbal und kaum messbar, definiert ist. Die Qualitäten sind in den verschiedenen Abschnitten eines Baumschaftes unterschiedlich und nur über zusätzliche Attribute wie beispielsweise Astigkeit, Krümmung oder Schäden zu beschreiben. Solche Angaben sind aber zurzeit kaum aus Inventuren und für Einzelstämme verfügbar. Wenn überhaupt, liegen hierzu nur relativ grobe Erfahrungswerte vor (siehe Defaultwerte).

Im Beispiel wurden die Verjüngungskosten in den ersten 15 Jahren auf Empfehlung eines Forstpraktikers aus dem Mittelland auf 10 000 CHF/ha geschätzt. Die Erntekosten wurden mit der Software HeProMo (Frutig et al 2009), angepasst an die einzelnen Holzerntestrategien, berechnet. Als Eingangsgrössen dienten das Holzernteverfahren, die Baumartenanteile, das Volumen des mittleren Stammes, das mittlere Stückvolumen, die Rückedistanzen und die Kostenansätze pro Stunde für Personal und Maschinen.

Als Vergleichsgrössen wurden die Annuitäten gemäss Gleichungen 1 und 2 berechnet. Annuität bezeichnet eine im Betrag gleichbleibende, jährlich fliessende Zahlung. Sie ist eine vom Zinssatz und von

der Laufzeit abhängige jährliche Zahlungsgrösse. Die Annuität entspricht demjenigen jährlichen konstanten Betrag, der während der Laufzeit eines Investitionsobjektes unter Erhaltung des Kapitals jährlich als Gewinn entnommen werden kann (Schmidt & Terberger 1986). Dieser jährliche Holzproduktionswert ist positiv, solange die Verzinsung der Investition höher ist als der Zinsfuss, der für die Berechnung verwendet wurde. Eine Einführung in die Theorie vor forstlichem Hintergrund und die Berechnung der Renten findet sich in Möhring & Rüping (2008).

Für die Berechnung von Annuitäten zwischen zwei Zeitpunkten und für den Plenterbestand

$$a_n = \left(\frac{A_{x+n}}{(1+i)^n} + \sum_{r=x+1}^{x+n} \frac{D_r}{(1+i)^{r-x}} - A_x \right) \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Für die Berechnungen im gleichförmigen Bestand

$$a_u = \left(\frac{A_u}{(1+i)^u} + \sum_{r=1}^u \frac{D_r}{(1+i)^r} - c \right) \times \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (2)$$

mit

- a_n, a_u Annuität (Bodenbruttorente; Holzproduktionswert)
- u Umtriebszeit
- n Dauer der Produktionsperiode in Jahren
- x Ausgangsjahr
- A_u Netto-Abtriebswert im Jahr u
- A_x Netto-Abtriebswert im Jahr x
- A_{x+n} Netto-Abtriebswert im Jahr $x+n$
- D_r Netto-Durchforstungsertrag im Jahre r
- c Verjüngungs- und Pflegekosten in den ersten 15 Jahren
- i verwendeter Zinsfuss

Die Ausgangsdaten des gleichförmigen Bestandes und des Plenterbestandes weisen zum selben Zeitpunkt ausscheidende und verbleibende Bäume aus. Daraus erfolgt die Berechnung der Annuitäten. Die Annuitäten für eine Periode ergeben sich immer aus den diskontierten Werten des Endbestandes und der Vornutzungen minus Anfangsbestand. Dieser Wert wird anschliessend multipliziert mit dem Annuitätenfaktor.

Tabelle 3 zeigt für den gleichförmigen Bestand, dass sich die Kosten für Verjüngung und Pflege in den ersten Jahren massiv auf das Ergebnis auswirken. Bei einem unterstellten Zinsfuss von 1.5% und Kosten für die Verjüngung und die Pflege in den ersten 15 Jahren von CHF 10 000.– werden in 94 Jahren höchstens CHF 114.– pro Hektare und Jahr verdient, dies von einem vorwiegend durch Nadelholz geprägten Bestand auf einem sehr wüchsigen Standort mit einer Oberhöhenbonität im Alter 50 von 26. Leider konnte der Bestand ab einem Alter von 94 Jahren nicht weiter erfasst werden (er wurde im Jahr 1967 von einem Sturm weitgehend zerstört). Das hohe Kapital im Alter von 94 Jahren von fast CHF 76 000.– stellt ein beachtliches Risiko einer Schädigung und damit verbunden eines gewaltigen Wertverlustes dar.

Unter der Annahme, dass in den ersten 15 Jahren keine Verjüngungs- und Pflegekosten angefallen sind, d.h., wenn der Bestand natürlich verjüngt worden wäre, hätten bis ins 94. Altersjahr Annuitäten von CHF 313.– erwartet werden können. Diese Annahme erscheint aber wenig realistisch. Demgegenüber weist der Plenterbestand beim unterstellten Zinsfuss von 1.5% für den Zeitraum von 1928 bis 2003 Annuitäten von CHF 246.– (Tabelle 4) auf. Dies ist umso beachtlicher, als es sich um einen Bestand handelt, der auf 1300 m ü. M. liegt und höhere Holzerntekosten als der gleichförmige Bestand verursacht (Abbildung 5). Wie sich die Annuitäten ausgehend von verschiedenen Aufnahmen ändern, kann den Tabellen 3 und 4 entnommen werden.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Annuitäten des gleichförmigen Bestandes und des Plenterwaldes bei unterschiedlicher Verzinsung. Der Zinssatz kann dabei als ein Mass für die Stärke der

Kapitalknappheit aufgefasst werden. Ohne Verzinsung könnte man im gleichförmigen Bestand bis ins Alter 94 rund CHF 650.– pro Jahr und ha erzielen (Abbildung 6 links). Demgegenüber liefert der Plenterbestand nur CHF 460.– pro Jahr und ha (Abbildung 7 links). Unterstellt man jedoch eine interne Verzinsung von 3%, wird der gleichförmige Bestand nie kostendeckend bewirtschaftet. Das in die Verjüngung investierte Geld und der Bestandeswert im Endnutzungsalter wären bei 3% besser auf einer Bank angelegt. Ebenso ist das Risiko von Zwangsnutzungen, wie im vorliegenden Beispiel passiert, bei diesen hohen Kapitalwerten ungeheuer gross. Knoke & Seifert (2008) zeigen, dass beinahe 50% der 100-jährigen Fichtenreinbestände nicht überleben. Demgegenüber wirft der Plenterbestand bei einer Verzinsung von 3% noch CHF 45.– jährlich ab, obwohl die Holzerntekosten wesentlich höher liegen.

	Zum Jahr/Alter												
	1888	1892	1899	1913	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1963
Vom Jahr/Alter	19	23	30	44	51	56	61	66	71	76	81	86	94
1869 0 mit VJ	-748	-624	-453	-235	-145	-77	-17	28	64	80	85	102	114
1869 0 ohne VJ	-140	-107	-37	77	137	189	234	267	294	302	299	310	313
1888		81	192	226	344	417	476	515	544	542	526	533	525
1892			261	369	443	515	573	608	634	626	603	607	594
1899				431	517	602	665	700	723	706	674	674	653
1913					719	843	908	923	928	874	806	795	751
1920						1033	1059	1035	1017	930	833	816	759
1925							1086	1037	1010	899	783	769	710
1930								984	968	826	692	691	635
1935									951	738	579	603	556
1940										509	372	468	451
1945											224	446	432
1950												684	523
1955													411

Tab 3 Annuitäten des gleichförmigen Bestandes für verschiedene Perioden in CHF/(ha × J). Bestandesbegründung 1869, Zinsfuss 1.5%, Bestandesbegründungs- und Pflegekosten in den ersten 15 Jahren (VJ) CHF 10 000.–.

Von	Bis											
	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1963	1969	1978	1987	1995	2003
1928	234	145	219	201	213	195	210	207	222	224	233	246
1932		70	213	192	208	187	207	203	220	223	232	247
1937			366	260	262	223	239	230	246	245	254	269
1942				144	203	167	203	198	223	226	238	256
1947					266	180	224	213	240	240	253	271
1952						87	203	194	233	235	250	272
1957							308	245	275	267	280	301
1963								177	260	254	273	299
1969									323	285	300	328
1978										241	286	331
1987											344	392
1995												446

Tab 4 Annuitäten des Plenterbestandes für verschiedene Perioden in CHF/(ha × J). Erstaufnahme 1928, Zinsfuss 1.5%.

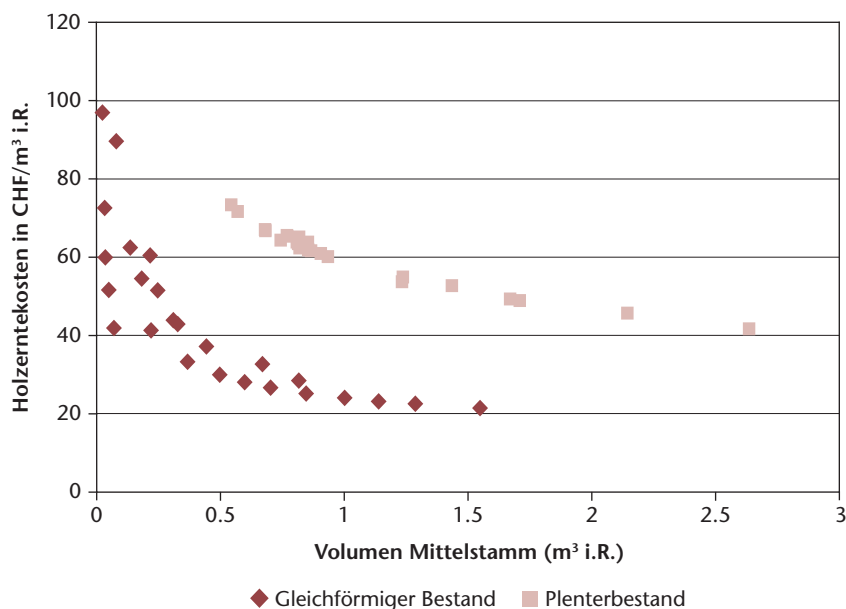


Abb 5 Mit HeProMo (Frutig et al 2009) berechnete und in den beiden Beständen verwendete Holznerterkosten.

Betrachtet man die Zuwachswerte in Abbildung 6 rechts, so zeigt sich im gleichförmigen Bestand: je höher der Zinssatz, desto früher kulminiert der laufende Wertzuwachs (Annuität). Ohne Verzinsung wäre die optimale Umtriebszeit (Kulmination der Annuitäten gleich durchschnittlicher Wertzuwachs) mit 94 Jahren im Jahr 1963 noch nicht erreicht (Abbildung 6 links). Mit einer Verzinsung von 3% kulminiert der Bestand bereits vor 80 Jahren, jedoch bei einem negativen Wert. Beim Plenterbestand (Abbildung 7) liegen die Annuitäten meistens von 1928 bis zum Jahr x ohne Verzinsung tiefer als im gleichförmigen Bestand. Sie holen mit zunehmender Verzinsung jedoch schnell auf. Es ist, wie zu erwarten war, kein Optimum der Annuitäten feststellbar. Die leichte Zunahme ist möglicherweise auf eine noch nicht vorhandene optimale Plenterstruktur zurückzuführen. Wie dieses Beispiel zeigt, hängt die Betrachtung stark von der angenommenen Verzinsung, den Verjüngungs- und Pflegekosten und nicht

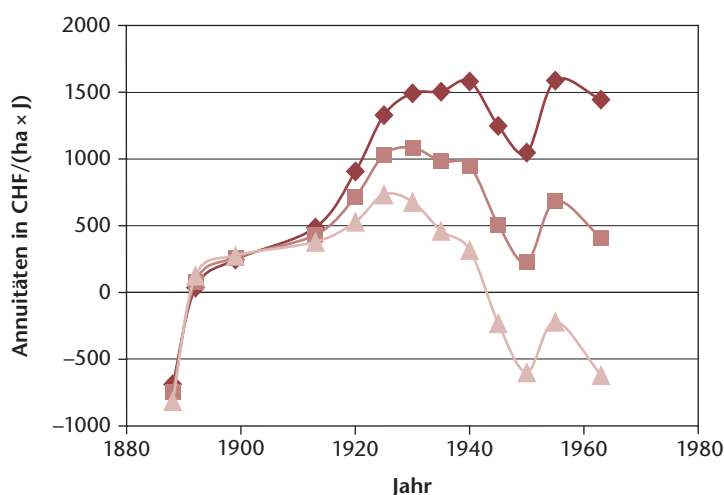
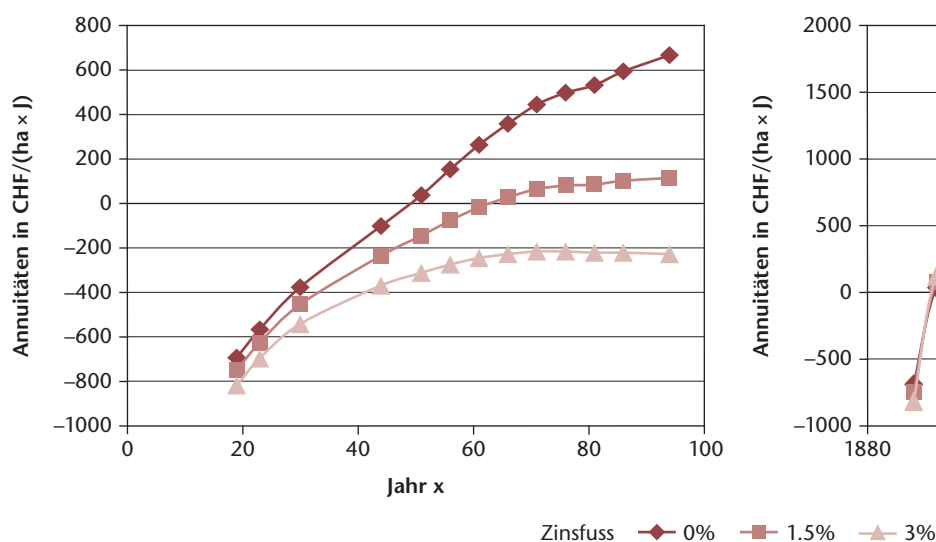


Abb 6 Annuitäten von 1869 bis zum Jahr x (links) und Annuitäten für aufeinanderfolgende Perioden (rechts) für den gleichförmigen Bestand in CHF/($ha \times J$). Bestandesbegründung 1869 = Jahr 0, Bestandesbegründungs- und Pflegekosten in den ersten 15 Jahren CHF 10 000.–, Zinsfuß 0%, 1.5% und 3%.

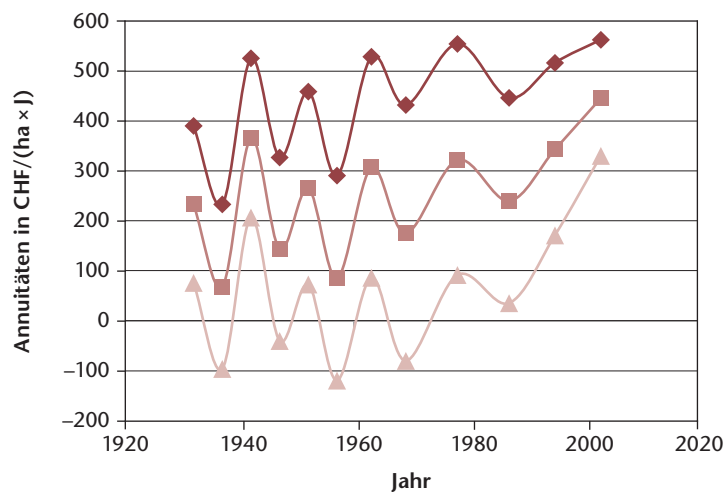
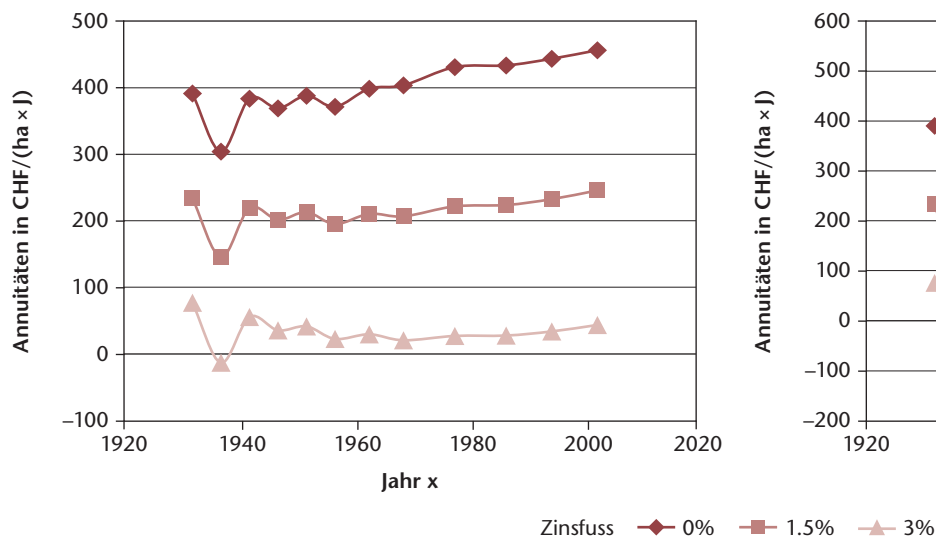


Abb 7 Annuitäten von 1928 bis zum Jahr x (links) und Annuitäten für aufeinanderfolgende Perioden (rechts) für den Plenterbestand in CHF/($ha \times J$). Erstaufnahme 1928, Zinsfuß 0%, 1.5% und 3%.

zuletzt von den Holzerntekosten ab. Die Verwaltungskosten sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

Man könnte aufgrund dieses realen Beispiels finanzielle Vorteile des Plenterbestandes gegenüber dem gleichförmigen Bestand vermuten, wie sie auch Schütz et al (2012) gefunden haben. Der Plenterbestand ist früher gewinnbringend, obwohl die Holzerntekosten höher sind. Die Bäume können jederzeit genutzt werden, was dem Eigentümer grosse Flexibilität gewährt. Im Unterschied dazu fallen im gleichförmigen Hochwald in der Regel zusätzlich Verjüngungskosten an. Bei allen Vorteilen der Plenterung darf nicht vergessen werden, dass für diese nur ein gewisses Baumartenspektrum (Fichte, Tanne, Buche, Douglasie) infrage kommt. Die Plenterung kann somit nur in gewissen Gebieten der Schweiz zur Anwendung kommen. Es kann kein flächendeckendes Waldbaukonzept sein.

Der Sortierungssimulator bietet, wie hier gezeigt, die Möglichkeit, für komplexe ökonomische Fragestellungen Holzsortierungen über ganze Umrtriebszeiten in beliebiger Detaillierung effizient zu simulieren und so die Basis für strategische und wissenschaftliche Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zu verbessern. Viele Überlegungen liessen sich auch ohne SorSim mit Annahmen zu den anfallenden Sortimenten in den realen Beständen durchführen. In einem solchen Fall würde man jedoch die Vorteile bezüglich der Genauigkeit, die man mit den realen Beständen gewonnen hat, wieder aufgeben.

Ausblick

Für eine Vorkalkulation der Holzsortimente und -erlöse können unterschiedliche Bestandsdaten erhoben werden. Eine genauere Prognose bedingt in der Regel auch einen höheren Erhebungsaufwand. Neben der Holzqualität, die sowieso nur mit einem grossen Aufwand erhoben werden kann, ist die BHD-Verteilung im ausscheidenden Bestand eine entscheidende Grösse, und neben dieser spielen die Höhe des Baumes und die Wahl des Formquotienten D_{7m}/BHD eine wichtige Rolle. Diese letzten drei Grössen wurden von der WSL mit dem Sortierungssimulator SorSim im Winter 2012/2013 getestet; einerseits mit Fichtenwerten des LFI und andererseits mit Daten aus der Praxis. Bei der Fichte stimmten die geschätzten Volumina weitgehend mit den Ergebnissen (Volumenfunktionen, Einzelwerte von Bäumen) des LFI überein. Hingegen liegen die SorSim-Werte beim Anwenden der Schaftform «Splines» gegenüber der Ertragstafel von Badoux (1983) um etwa 10 bis 15% tiefer. Bei Anwendung der Funktion von Lemm (1991) liegt die Volumenbestimmung etwa in der gleichen Grössenordnung wie die Ertragstafel. Die Resultate bei Tanne, Föhre, Lärche und Buche sind

noch nicht im Detail überprüft, weisen jedoch auf ähnliche Verhältnisse hin. Dies liegt einerseits daran, dass derzeit bei der Wahl von «Splines» nur die zwei standortabhängigen Formquotienten D_{7m}/BHD «gut» und «mager» angewählt werden können, andererseits daran, dass die Tarife bei der Berechnung der Ertragstafeln viel zu optimistisch gewählt wurden. Zwar wurden die Formquotienten getrennt nach Baumarten über die Höhenstufen in die zwei Kategorien eingeteilt und gemittelt. Es wird jedoch notwendig werden, dass man neben diesen Vorgabewerten Werte auch individuell eingeben kann.

In der Praxis wurde SorSim zunächst in drei Forstbetrieben anhand von konkreten Hieben getestet. Auf der Grundlage von Anzeichnungsprotokollen wurden die Sortimentsanfänge kalkuliert und nach dem Einschlag die Ergebnisse der Holzaufnahme mit den Kalkulationen verglichen. In der Mehrzahl handelte es sich um Fichtenhiebe; es kamen aber auch Bestände mit Tanne, Lärche, Buche und übrigem Laubholz vor. Der Vergleich der aufgearbeiteten Sortimente mit denen aus der Vorkalkulation zeigte gute Resultate. Bei allen Baumarten kamen vereinzelt aber auch Abweichungen vor. Meist liessen sich diese mit der Vorgeschichte des jeweiligen Bestandes und den damit verbundenen Einflüssen auf Struktur und Qualität erklären. Weitere Modelltests laufen derzeit in der Praxis.

Für die Forstpraxis eignet sich der Sortierungssimulator SorSim vor allem, weil er rasch und zuverlässig konkrete Vorstellungen über mögliche Erlöse bei der Holzvermarktung vermittelt. Der grosse Wert des Programms beruht auf der Auseinandersetzung mit realen Waldbeständen, mit Vermarktungsalternativen und im Zusammenspiel mit den Holzernteproduktivitätsmodellen HeProMo (Frutig et al 2009) mit der Berechnung von Deckungsbeiträgen. Diese Instrumente liefern Praxis und Wissenschaft Grundlagen auf quantitativer Basis, welche zur Verbesserung der Effektivität der Waldbewirtschaftung eingesetzt werden können.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wird derzeit darüber nachgedacht, wie man die Einzelstammaushaltung wertmässig optimieren (bucking to value) und anstehende Schläge aktuellen Kundenanfragen optimal zuweisen kann (bucking to order). Für solche Sortimentsoptimierungen bildet SorSim eine wichtige Basis. Auch für ein neues Rahmenprojekt der WSL, das mit internetbasierten, IT-gestützten Entscheidungsgrundlagen die gesamte Planung und Steuerung des Forstbetriebes verbessern will, liefert er einen wichtigen Baustein. Die Software SorSim und das Handbuch können von der Website der WSL heruntergeladen werden.⁵

Eingereicht: 15. März 2013, akzeptiert (mit Review): 9. Juli 2013

⁵ www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/software/sorsim (16.7.2013)

Literatur

- ALTHERRE E, UNFRIED P, HRADETSKY J, HRADETSKY V (1974–1978)** Statistische Rindenbeziehungen als Hilfsmittel zur Ausformung und Aufmessung unenttrindeten Stammholzes. Teil I–IV: Europ. Lärche, Japanlärche, Schwarzkiefer, Stieleiche, Traubeneiche, Roteiche, Bergahorn und Linde. Mitt Forstl Vers.-Forsch.anst Baden-Württ 61, 68, 78, 90, 93.
- BADOUX E (1983)** Ertragstafeln Fichte. Birmensdorf: Eidgenössische Anstalt für das forstliche Vers.wes, 3 ed.
- BRASSEL P, LISCHKE H, EDITORS (2001)** Swiss National Forest Inventory: Methods and models of the second assessment. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL. 336 p.
- DÖBBELER H, ALBERT M, SCHMIDT M, NAGEL J (2002)** BWINPro – Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Handbuch zur Version 6.1. Göttingen: Niedersächs forstl Vers.anstalt, Abteilung Waldwachstum. 121 p.
- FRUTIG F, THEES O, LEMM R, KOSTADINOV F (2009)** Holzernteproduktivitätsmodelle HeProMo – Konzeption, Realisierung, Nutzung und Weiterentwicklung. In: Thees O, Lemm R, editors. Management zukunftsfähige Waldnutzung. Zürich: VDF. pp. 441–466.
- GRUNDNER F, SCHWAPPACH A (1952)** Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. Hamburg: Schober, 10 ed. 216 p.
- HOLM S, LEMM R, ERNI V (2012)** Handbuch Sortimentssimulator «SorSim» Version 2.0. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 43 p.

- KNOKE T, SEIFERT T (2008)** Integrating selected ecological effects of mixed European beech–Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecol Model* 210: 487–498.
- KNOKE T (2009)** Zur finanziellen Attraktivität von Dauerwaldwirtschaft und Überführung: eine Literaturanalyse. *Schweiz Z Forstwes* 160: 152–161. doi: 10.3188/szf.2009.0152
- LEMM R (1991)** Ein dynamisches Forstbetriebs-Simulationsmodell. Prognosen von betriebsspezifischen Waldentwicklungen, Waldschäden und deren monetäre Bewertung unter variablen Einflussgrössen. Zürich: ETH Zürich, Professur Forsteinrichtung Waldwachstum, Dissertation 9369. 235 p.
- LEMM R, ERNI V (2009)** Bessere Nutzungs- und Allokationsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim. In: Thees O, Lemm R, editors. Management zukunftsfähige Waldnutzung. Zürich: VDF. pp. 415–439.
- MÖHRING B, RÜPING U (2008)** A concept for the calculation of financial losses when changing the forest management strategy. *For Policy Econ* 10: 98–107.
- MÖHRING B (2010)** Optimierung forstlicher Produktion unter Beachtung von finanziellen Restriktionen. *Schweiz Z Forstwes* 161: 346–354. doi: 10.3188/szf.2010.0346
- SCHMIDT R, TERBERGER E (2006)** Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie. Wiesbaden: Gabler. 498 p.
- SCHÜTZ JP, PUKKALA T, DONOSO PJ, VON GADOW K (2012)** Historical emergence and current application of CCF. In: Pukkala T, von Gadow K, editors. Continuous cover forestry. Heidelberg: Springer. pp. 1–28.
- WVS (2010)** Schweizer Handelsgebräuche für Rohholz, Ausgabe 2010. Solothurn: Waldbirtschaft Verband Schweiz. 110 p.

Bessere Produktions- und Nutzungsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim

Die Holzsortimente jederzeit abschätzen zu können, ist eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Holzproduktion. Nur dann ist es möglich, Managemententscheidungen zu verbessern, indem die Einnahmen alternativer Waldbau- und Sortierungsstrategien miteinander verglichen werden. Bisher fehlte der Schweizer Forstpraxis und auch der Forstwissenschaft ein zweckmässiges Instrument, um Sortierungen von einzelnen Bäumen und ganzen Waldbeständen zu simulieren. Mit dem Sortierungssimulator SorSim hat die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) diese Lücke geschlossen. Die Software ist in Java implementiert und somit plattformunabhängig. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Funktionsweise des Simulators und belegt anhand zweier Beispiele die Anwendungsmöglichkeiten. Ein besonderer Praxisnutzen besteht darin, die Sortimentszusammensetzung geplanter Nutzungen anhand von Anzeichnungsprotokollen mengen- und wertmässig schätzen zu können. Beim Einsatz in der strategischen Planung und insbesondere in der Forschung liefert SorSim die Voraussetzung für Analysen der langfristigen Ertragsentwicklung von Waldbeständen beziehungsweise von waldbaulichen Behandlungsmethoden. Die Verknüpfung mit IT-gestützten Holzernteproduktivitätsmodellen ermöglicht zusätzliche Erkenntnisse. Bei der Weiterentwicklung von SorSim werden derzeit verschiedene Ansätze zur wertmässigen Optimierung bei der Sortierung von Einzelbäumen und bezüglich der optimalen Zuweisung von Holzschlägen zu definierten Kundennachfragen geprüft.

Meilleures décisions en matière de production et de récolte grâce au simulateur de classement des bois SorSim

Pour produire le bois de façon économique, il est indispensable de pouvoir estimer à tout moment les assortiments de bois. C'est la condition qui permet de quantifier le produit de la vente généré par les diverses méthodes et interventions sylvicoles, ainsi que par les options de classement des bois, ceci en vue d'améliorer les décisions en matière de production et de récolte. La pratique comme la recherche forestière ne disposaient jusqu'ici d'aucun instrument adéquat, capable de simuler le classement des bois pour un arbre ou pour tout un peuplement. L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a comblé cette lacune avec le simulateur de classement SorSim. Le logiciel étant implémenté sur Java, il est indépendant de la plate-forme utilisée. L'article donne un aperçu sur le fonctionnement du simulateur et confirme les possibilités d'application à l'aide de deux exemples. Une des utilités notables pour la pratique est de pouvoir estimer la composition et la valeur des assortiments d'une exploitation future à l'aide du rapport de martelage. Utilisé dans la planification stratégique et notamment aussi dans la recherche, le simulateur SorSim offre la possibilité d'analyser l'évolution à long terme de la production de peuplements forestiers et des méthodes de traitement sylvicole. La mise en lien avec des modèles informatiques de productivité de la récolte des bois permet de tirer des conclusions différenciées sur le plan économique. Dans le cadre du développement de SorSim, diverses approches sont actuellement à l'étude en vue d'optimiser le résultat économique du classement des troncs pris individuellement ainsi que l'attribution des coupes en fonction de la demande des clients.